



TITLE:

電磁干渉環境下におけるデジタル無線通信の通信品質評価方法に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

高谷, 和宏

CITATION:

高谷, 和宏. 電磁干渉環境下におけるデジタル無線通信の通信品質評価方法に関する研究. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21966>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	高 谷 和 宏
論文題目	電磁干渉環境下におけるデジタル無線通信の通信品質評価方法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、デジタル無線通信の伝送路において、伝送帯域内に混入する干渉波（機器が意図的に発する電波）及び妨害波（機器が非意図的に空間に放出する不要な電波）がデジタル無線通信の通信品質に与える影響を推定するための計算モデルと通信品質の評価方法について論じた結果をまとめたものである。対象とした被干渉システムは、無線 LAN にも用いられている、DSSS（Direct Sequence Spread Spectrum）、FHSS（Frequency Hopping Spread Spectrum）、CCK（Complementary Code Keying）、OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）、及び移動体通信にも用いられている QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）である。一方、干渉波／妨害波としては、伝送帯域の一部に混入する狭帯域干渉波、伝送帯域と同等の周波数帯域に分布する広帯域変調波、及びあるパルス持続時間を持つ周期的なバースト性妨害波を対象としている。本研究は、周波数領域及び時間領域において特徴量を持つ干渉波及び妨害波が存在する電磁干渉環境下における通信品質の評価方法をまとめしており、5 章により構成される。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景を述べている。Society 5.0 の実現に向けて IoT（Internet of Things）や 5G（5th Generation mobile communication network）が進展すると、デジタル無線通信システムと干渉源／妨害源がより稠密に配置される通信環境において従来の 1/10 以下の低遅延性が求められる。従来の通信制御では、伝送路の状況に応じて伝送速度や通信パラメータを段階的に変更しながら End-to-End の信頼性を確保してきたが、今後求められる低遅延性を同時に満足することは困難である。低遅延に対する要求を満足するためには、与えられた通信環境における通信品質をあらかじめ推定し、最適なデジタル変調方式や通信パラメータをダイナミックに選択して通信を開始する柔軟性の高い通信制御が求められる。このような状況を鑑み、今後の社会的ニーズに応えるための通信ネットワークのあり方とデジタル無線通信の電磁干渉問題を検討した先行研究について概説するとともに、本研究の位置づけと目的について述べている。</p> <p>第 2 章では、狭帯域干渉波に対する通信品質の評価方法について論じている。帯域制限された DSSS、CCK、OFDM 変調方式を対象とし、伝送帯域の 1/20 程度の狭帯域干渉波が混入した場合を想定し、干渉波の中心周波数の違いが SINR（Signal to Interference plus Noise Ratio）に与える影響を考慮した PER（Packet Error Rate）推定のための計算モデルを新たに提案している。従来の通信品質評価方法では十分に考慮されていない帯域通過フィルタ（BPF：Band-pass Filter）が干渉波に与える影響の周波数特性、及び DSSS や CCK で用いられる拡散符号に起因する逆拡散時の干渉波抑制効果の周波数特性の、両者を考慮したモデルの有効性と適用範囲について論じている。さらに、与えられた SINR に対して、DSSS、CCK、OFDM の転送速度（スループット）を算出し、SINR ごとに実効的なスループットを最大とする最適な方式の選択法について論じている。</p> <p>第 3 章では、広帯域干渉波に対する通信品質の評価方法として、2.4GHz 帯などのアンライセンスバンドで複数のデジタル無線通信システムが存在する際に、一方の通信信号が他方に対して広帯域干渉波として作用する場合について、その影響を考慮した通信品質評価方法を提案している。同一チャネルを使用する DSSS 及び FHSS システムを</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	高 谷 和 宏
<p>対象とし、これらのシステム間の干渉が BER (Bit Error Rate) 及びスループットに与える影響を推定するための計算モデルを新たに提案し、計算結果及び測定結果に基づいて干渉のメカニズムを明らかにするとともに、これらの干渉が通信品質に影響を与えない条件を明らかにしている。まず DSSS システム間の干渉については、干渉側と被干渉側の通信パラメータが同じ場合と異なる場合でスループット特性に差が出ることを示し、システム間干渉が通信品質に影響を与えない干渉回避条件を明らかにした。次に、方式が異なる DSSS/FHSS システム間の干渉についても、干渉波の周波数スペクトルの違いが通信品質に与える影響を評価する計算モデルを提案し、IEEE 規格の通信パラメータを用いてシステム間干渉が通信品質に影響を与えない所要 SIR を明確化した。</p> <p>第 4 章では、ディジタル変調された信号をパケット単位で送受信するディジタル無線通信システムを想定し、周辺機器が非意図的に発するバースト性妨害波の時間領域における特徴量を考慮した通信品質の計算モデルと評価方法を新たに提案している。妨害波のパルス持続時間やパルス間インターバルがパケットと妨害波の衝突確率に与える影響を考慮した PER 推定のための計算モデルを作成し、異なるいくつかの干渉条件について提案手法の有効性を示している。その結果、(1)パルス間インターバルとパケット送信時間から妨害パルスとパケットとの衝突確率を求めることにより PER 推定が可能であること、(2)バースト性妨害波の評価において電力以外に少なくともパルス持続時間やパルス間インターバルが不可欠であること、(3)異種のパルス性妨害波が存在する場合は個々の妨害パルスに対する PER の合成により PER 推定が可能であること、(4)パルス間インターバルの期待値を用いることにより、パルス間インターバルの分布も考慮した PER 推定が可能であることを示した。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後取り組むべき課題と将来の展望について述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、デジタル無線通信の伝送路において、周波数領域及び時間領域において特徴量を持つ干渉波及び妨害波が存在する電磁干渉環境における通信品質の評価方法を提案している。伝送帯域内に混入する干渉波（機器が意図的に発する電波）、及び妨害波（機器が非意図的に空間に放出する不要な電波）がデジタル無線通信の通信品質に与える影響を推定するための計算モデルと通信品質の評価方法について論じた結果をまとめたものである。対象とした被干渉システムは、DSSS、FHSS、CCK、OFDM 及び QPSK であり、干渉波／妨害波としては、狭帯域干渉波、広帯域変調波、及びパルス持続時間を持つバースト性妨害波であり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 狭帯域干渉波に対する通信品質の評価に関しては、帯域制限された DSSS、CCK、OFDM 変調方式を対象とし、干渉波の中心周波数の違いが SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) に与える影響を考慮した PER (Packet Error Rate) 推定のための計算モデルを新たに提案している。帯域通過フィルタ及び逆拡散による干渉波抑制効果の周波数特性を考慮した SINR の算出方法と PER 推定方法を新たに提案し、その有効性と適用範囲について示している。
2. 広帯域干渉波に対する通信品質の評価に関しては、同一チャネルを使用する DSSS 及び FHSS システムを対象とし、これらのシステム間の干渉が BER (Bit Error Rate) 及びスループットに与える影響を推定するための計算モデルを新たに提案し、計算結果及び測定結果に基づいて干渉のメカニズムを明らかにするとともに、これらの干渉が通信品質に影響を与えない干渉回避条件を明らかにしている。
3. バースト性妨害波に対する通信品質の評価に関しては、機器が非意図的に発するバースト性妨害波の時間領域における特徴量を考慮した通信品質の計算モデルと評価方法を新たに提案している。デジタル変調された信号をパケット単位で送受信するデジタル無線通信システムを対象とし、パルス持続時間やパルス間インターバルがパケットと妨害波の衝突確率に与える影響を考慮した PER 推定のための計算モデルを新たに提案し、提案手法を用いて求めた PER 結果を計算機シミュレーションによって求めた PER と比較し、提案手法の有効性を示している。

本論文は、各種電磁干渉のデジタル無線通信品質へ影響評価に関して、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 31 年 3 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。